

一种新型涡街发生体的设计与数值仿真*

朱徐立, 林 辉

(厦门大学 机电系, 福建 厦门 361005)

摘 要: 涡街发生体是涡街流量计的关键部件之一,其流体力学外形决定了涡街流量计的量程、精度。设计了一种新型的涡街发生体,并通过 CFD 软件 FLUENT对新型涡街发生体和目前常用的涡街发生体进行数值仿真、理论分析和比较。结果表明:在实际应用中,新型涡街发生体的流体力学性能优于其他涡街发生体,适合高、低流速下产生强度大且稳定的涡街。

关键词: 涡街; 流量; 仿真

中图分类号: TH814+.92 文献标识码: A 文章编号: 1000- 9787(2008)02- 0101- 02

Design and numerical simulation of novel vortex generator*

ZHU Xu-li LIN Hui

(Department of Mechanical and Electrical Engineering
Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract Vortex generator is an important component of vortex flowmeter. The shape of CFD decides vortex flowmeter's range and accuracy. A novel vortex generator is designed, its numerical value is simulated and the theory is analysed by FLUENT, and the other common generators are compared with it. As a result, through practical application, the advanced vortex generator has a better performance than others; it is able to make powerful and steady vortices in low or high Renault value.

Key words vortex; flow; simulation

0 引 言

随着科技的发展,流量测量技术已在石油、化工、水利、气象、冶金等许多部门有着广泛的应用。它与科学研究、国防建设、工业生产、日常生活有密切的关系。

涡街流量计是近几十年才发展起来的新型流量计,它是依据流体力学中涡街分离频率与流体流速有对应关系,捕捉涡街分离频率,再通过一些计算公式测出流体流量。

涡街发生体是涡街流量计的核心部件,其形状对产生涡街的质量有至关重要的作用。本文所研究的涡街发生体具有以下优点:结构简单、性能可靠、安装维护方便、适用流体种类多、可以测量液体、气体、蒸汽等流体的流量、精度高、且压损较小^[1]。

1 涡街流量计原理

涡街流速计是基于卡门涡街原理研制的,在流动的流体中放置一根轴线与流向垂直的柱形体(即涡街发生体),当流体沿涡街发生体绕流时,会在涡街发生体下游产生两列不对称但有规律的交替涡列,如图 1,这就是卡门涡街^[2]。



图 1 卡门涡街

Fig 1 Kármán vortex

实验证明:在一定的雷诺数 Re 范围内,涡街产生的频率 f 与流体平均流速 v 之间有如下关系^[3]为

$$f = Sr \frac{v}{d}, \tag{1}$$

式中 v 为涡街发生体两侧的平均流速, m/s ; Sr 为斯特劳哈尔数(常数); d 为涡街发生体特征宽度, m 。则流量为

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v = \frac{\pi d D^2}{4 Sr} f, \tag{2}$$

式中 D 为管道内径, m

2 新型涡街发生体的设计与仿真

2.1 涡街发生体的基本结构

1) 涡街发生体的基本要求

收稿日期: 2007- 06- 12

* 基金项目:福建省重大专项前期研究计划资助项目(2005HZ1022)

涡街发生体应满足以下要求^[3]:

- a 涡旋强烈, 信号的信噪比高;
 - b 在较宽的雷诺数 Re 范围内涡街稳定, 斯特劳哈尔数 Sr 恒定;
 - c 结构简单、调试、维修方便。
- 2) 新型涡街发生体

常用的涡街发生体分单发生体和多发生体 2 种, 多涡街发生体产生的涡街强度较大, 但由于结构复杂, 不利于量产和安装维护, 实际应用中, 一般采用单涡街发生体。

本文改进了发生体截面形状如图 2 三角形的两边有向内凹的圆弧度, 其尺寸比例为 $a:d:r \approx 2:3:13 \sim 4:5:15$ (r 为内凹圆弧度的半径), 通过仿真与分析, 可以看出: 它优于其他涡街发生体。

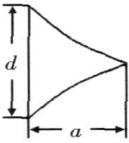


图 2 改进型涡街发生体截面

Fig 2 Cross section of improved vortex generator

2.2 数值仿真与分析

1) 流场仿真软件 FLUENT

本文的流场数值仿真采用了计算流体力学 (CFD) 软件 FLUENT。FLUENT 具有多种优化的物理模型, 针对每一种物理问题的特点, 都有适合它的数值解法。FLUENT 省略了人们在计算、编程、前后处理等方面重复、低效的劳动。

2) 建模与网格划分

在 FLUENT 求解之前需要建立计算模型, 使用的是 Gambit 前处理软件, 建立湍流模型, 将求解区域按结构化四边形网格进行划分^[4]。

3) 初始条件和边界条件的设置

为了 FLUENT 自带求解器的数值计算, 需要给出定解条件, 包括初始条件和边界条件。

- a 入口边界条件: 入口边界条件设定为沿流体流向速度入口, 垂直流向方向也设为速度入口, 但设 $v = 0$;
- b 出口边界条件: 出口边界条件设为压力出口, 工作压力为 Q 表压为 101325Pa , 即为一个标准大气压。
- c 壁面条件: 设置涡街发生体横截面为壁面, 默认为无滑移边界条件。
- d 流体介质: 流体介质设置为空气 (室温)。

4) 数值仿真结果

本文所设计的流量计适用的流速范围为 $0.2 \sim 30\text{ m/s}$ 现在取 $0.2, 1, 10, 30\text{ m/s}$ 4 种不同的速度 (准确地说是不同的雷诺数 Re) 进行仿真, 如图 3。

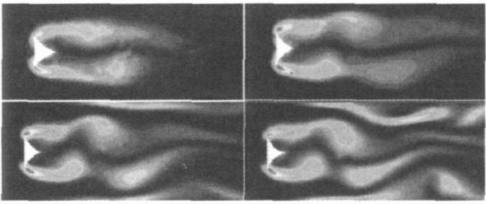


图 3 不同 Re 下的涡街旋转强度分布图 (改进型涡街发生体)

Fig 3 Plots of vorticity magnitude in different Re (improved vortex generator)

5) 仿真结果分析

图 3 是新型涡街发生体在涡街稳定情况下某时刻 t 的流场图。可以看出: 它在高、低速率 (高低雷诺数 Re) 下形成的涡街质量好、强度大, 而常用的三角形截面涡街发生体在低流速时性能较差 (图 4 上, 当低流速时涡街强度弱), 另外一种常用的钝头涡街发生体还存在着产生次漩涡的问题 (图 4 下), 这是因为发生体后面还存在 2 个拐点, 从而干扰主涡街信号的提取^[5]。

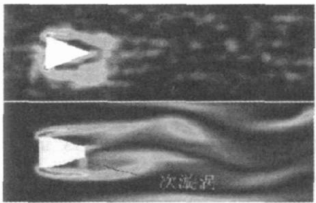


图 4 常用的 2 种涡街发生体的流场图 (低 Re)

Fig 4 Plots of flow of two common vortex generators (low Re)

图 5 是新型涡街发生体边界层的分离和漩涡的形成。

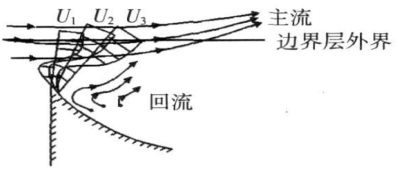


图 5 新型涡街发生体边界层的分离和漩涡的形成

Fig 5 Contour separation and eddy forming of new type vortex generator

流体流经涡街发生体, 由尖点开始形成边界层。在边界层内侧流速为零。在边界层中, 向外侧速度逐渐增大, 渐渐达到边界层的外界, 此后便进入主流。顺滞止点向后, 边界层逐渐加厚, 在滞止点处, 流体压力从自由流压力上升到滞止压力。这种高压推动流体向后运动, 随后边界层的流体逐渐加速, 静压逐渐下降 (伯努利方程), 边界层外的主流推动边界层内流体继续沿固体表面向后运动^[6]。当流体绕流到离尖点一小段处, 外流减速, 静压上升。此时, 压力在流动方向上是增加的, 也就是存在逆压梯度。这种反向压力差阻滞外流, 运动速度较慢的边界层的质点将受

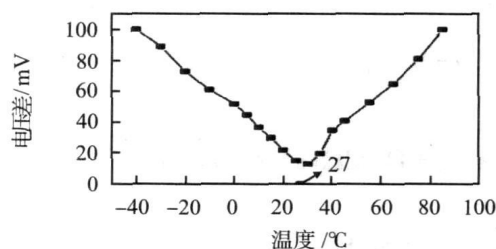
(下转第 105 页)

过 13 脚 (FREQ) 的阻值来设置。

3 测试结果

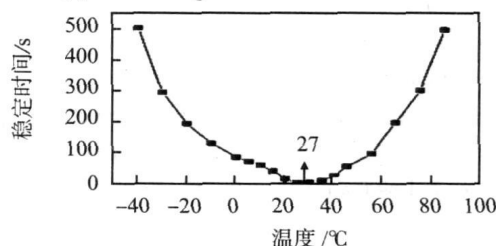
对上述设计的温度控制系统进行测试。监测系统是否达到稳定,除观察发光二极管 D1 的发光情况外,还可通过监测 ADN8831 的 5 脚 (N2P) 与 11 脚 (TMPGD) 之间的电压差来确定,如果系统稳定,两脚之间的电压差在 $\pm 100\text{mV}$ 以内即可确定目标物体的温度达到了设定温度点的 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 范围内。

测试是在恒温箱中进行的,系统设定温度设定为 27°C ,开启电路,稳定时,测试 ADN8831 的 5 脚与 11 脚之间电压差、稳定时间、恒温箱温度,测试结果如图 4 所示。



(a) 稳定后两脚电压差 V 与环境温度 T 的关系图

(a) relation diagram between V and T



(b) 稳定时间 t 与环境温度 T 的关系图

(b) relation diagram between t and T

图 4 温控系统测试结果

Fig 4 Result of temperature controlling system

当环境温度低于 -40°C 或高于 85°C 时,稳定时 ADN8831 的 5 脚与 11 脚之间的电压差将无法达到 $\pm 100\text{mV}$ 以内,发光二极管 D1 不发光,即 ADN8831 控制精度超过 $\pm 0.01^\circ\text{C}$,所以,此时温度控制系统不能正常工作。

从图 4(b)中可以看出:当环境温度低于 0°C 和高于 60°C 时,系统需要较长时间才能稳定,这时可以考虑对设定温度进行相应改变。

4 结论

本文所设计的基于 ADN8831 的温度控制系统经过测试表明:该系统可以有效地对目标物体的温度进行控制,能够使目标物体长期稳定工作在设定温度下。

参考文献:

- [1] 徐 隆,刘会通,刘 靖,等. 128×128 红外焦平面阵列驱动和信号后处理电路的设计 [J]. 红外技术, 2002, 24(5): 25-29
- [2] 常本康,蔡 毅. 红外成像阵列与系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 235
- [3] 覃喜庆,曾祥鸿,董 静,等. 基于 ADN8830 的高性能 TEC 控制电路 [J]. 光学与光电技术, 2004, 2(1): 20-22
- [4] 樊松波,李庆辉,林 虹. 非制冷焦平面热像仪温度控制设计 [J]. 红外与激光工程, 2005, 34(4): 499-502
- [5] Huang B J, Duang C L. System dynamic model and temperature control of a thermoelectric cooler [J]. International Journal of Refrigeration 2000(23): 197-207
- [6] 周进军,元秀华,李 博. 用 ADN8830 实现半导体激光器的自动温度控制 [J]. 光学与光电技术, 2005, 3(2): 54-57

作者简介:

郭经纬 (1981-), 男,河北秦皇岛人,硕士研究生,主要从事非制冷红外焦平面系统的测试与封装方面的研究。

(上接第 102 页)

到更强烈的阻滞,最后,当所有动能消耗完以后,流体质点被滞止,被迫反向运动,产生倒流。这样,在边界层的内侧与外侧之间出现了旋转力矩,形成漩涡。

其他非流线型流体的涡街分离的机理是相同的,人们为了获得更强烈的涡街,通常,将涡街发生体制成具有很大的曲率或有棱边。与三角形截面的涡街发生体相比,新型涡街发生体漩涡形成处的曲率更大(即棱角更尖),因此,内外边界层的分离更早更强烈,更重要的是它向内凹的表面很好地符合了边界层回流的力矩方向,漩涡的形成受到发生体表面的阻碍更少,所以,涡街的强度更大。

3 结束语

本文通过 FLUENT 流体仿真软件,对不同涡街发生体进行了数值仿真,并提出了一种新型的涡街发生体。通过仿真与实际应用,它在高低雷诺数 Re 下都可产生较强的涡街,更有利于传感器探头的捕捉和测量。由于具有结构简

单、安装方便、测量范围大、压损低等优点,可以在工业中获得广泛的应用。

参考文献:

- [1] 苏 文. 浅谈流量计的发展及现状 [J]. 中国仪器仪表, 2002(6): 1-4
- [2] 梁国伟,蔡武昌. 流量测量技术及仪表 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002
- [3] 黄挚雄. 超声波流速计的发展与应用 [J]. 自动化仪表, 1998, 13(3): 1-6
- [4] 韩占忠,王 敬,兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004
- [5] 叶春明,吴文权. 数值模拟圆柱绕流漩涡生成、分离及演化 [J]. 华东工业大学学报, 1995(4): 27-29
- [6] 王宝瑞. 流体力学 [M]. 北京: 气象出版社, 1988: 156-221

作者简介:

朱徐立 (1984-), 男,福建莆田人,硕士研究生,研究方向为仪器仪表、机电一体化。